

Docket No.: 50212-186

#6
PATENT

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

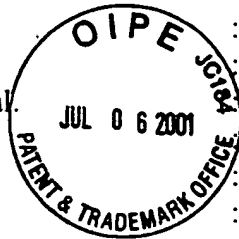
In re Application of

Takemi HASEGAWA, et al.

Serial No.: 09/764,254

Filed: January 19, 2001

For: OPTICAL FIBER



Group Art Unit: 2874

Examiner: To be assigned

TRANSMITTAL OF CERTIFIED PRIORITY DOCUMENTS

Honorable Commissioner for Patents and Trademarks

Washington, D. C. 20231

Sir:

At the time the above application was filed, priority was claimed based on the following applications:

Japanese Patent Application No. 2000-013174 filed January 21, 2000;

Japanese Patent Application No. 2000-013175 filed January 21, 2000; and

Japanese Patent Application No. 2000-138738 filed November 5, 2000.

A copy of each priority application listed above is enclosed.

Respectfully submitted,

MCDERMOTT, WILL & EMERY

A handwritten signature in dark ink, appearing to read "Arthur J. Steiner".

Arthur J. Steiner
Registration No. 26,106

600 13th Street, N.W.
Washington, DC 20005-3096
(202) 756-8000 AJS:mcm
Date: July 6, 2001
Facsimile: (202) 756-8087

日 本 国 特 許 庁
PATENT OFFICE
JAPANESE GOVERNMENT

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日
Date of Application: 2000年 5月11日

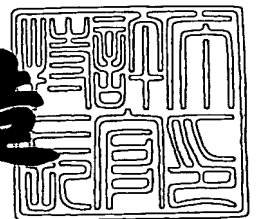
出 願 番 号
Application Number: 特願2000-138738

出 願 人
Applicant(s): 住友電気工業株式会社

2001年 2月 9日

特許庁長官
Commissioner,
Patent Office

及川耕造



出証番号 出証特2001-3006628

【書類名】 特許願

【整理番号】 100Y0055

【提出日】 平成12年 5月11日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 C03B 37/012

【発明者】

 【住所又は居所】 神奈川県横浜市栄区田谷町 1 番地 住友電気工業株式会
社 横浜製作所内

 【氏名】 長谷川 健美

【発明者】

 【住所又は居所】 神奈川県横浜市栄区田谷町 1 番地 住友電気工業株式会
社 横浜製作所内

 【氏名】 西村 正幸

【発明者】

 【住所又は居所】 神奈川県横浜市栄区田谷町 1 番地 住友電気工業株式会
社 横浜製作所内

 【氏名】 笹岡 英資

【特許出願人】

 【識別番号】 000002130

 【氏名又は名称】 住友電気工業株式会社

【代理人】

 【識別番号】 100088155

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 長谷川 芳樹

【選任した代理人】

 【識別番号】 100089978

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 塩田 辰也

【選任した代理人】

【識別番号】 100092657

【弁理士】

【氏名又は名称】 寺崎 史朗

【選任した代理人】

【識別番号】 100110582

【弁理士】

【氏名又は名称】 柴田 昌聰

【選任した代理人】

【識別番号】 100114258

【弁理士】

【氏名又は名称】 福地 武雄

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 014708

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 0001754

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 光ファイバ

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 軸方向に対して垂直な断面に、内側領域と、前記内側領域を囲む外側領域を有し、前記内側領域は、円状領域と、前記円状領域を囲む 2 つ以上の円環状領域によって構成され、前記円状領域と前記円環状領域はいずれも実質的に均一な媒質で形成され、それらの内の少なくとも 1 つは、自身の屈折率よりも低い屈折率を有する円環状領域によって囲まれる光ファイバにおいて、

前記外側領域は、主媒質中にこの主媒質の屈折率よりも低い屈折率を有する副媒質で形成された小領域を複数備えることを特徴とする光ファイバ。

【請求項 2】 コア領域と、前記コア領域を包囲する第 1 内側クラッド領域と、前記第 1 内側クラッド領域を包囲する第 2 内側クラッド領域と、前記第 2 内側クラッド領域を包囲する外側クラッド領域とを有し、

前記コア領域、前記第 1 内側クラッド領域、及び前記第 2 内側クラッド領域は、いずれも実質的に均一な媒質で形成され、

前記外側クラッド領域は、主媒質中にこの主媒質よりも屈折率が低い副媒質で形成された小領域を複数備え、

前記コア領域の屈折率 n_0 と、前記第 1 内側クラッド領域の屈折率 n_1 と、前記第 2 内側クラッド領域の屈折率 n_2 と、前記外側クラッド領域の平均屈折率 n_3 との間に、

$$n_0 > n_2 > n_1, \text{ かつ, } n_2 > n_3$$

なる関係が成立することを特徴とする請求項 1 記載の光ファイバ。

【請求項 3】 前記外側クラッド領域に形成された小領域は、ファイバ軸に関して実質的に 4 回回転対称性が成立するように配置されていることを特徴とする請求項 2 記載の光ファイバ。

【請求項 4】 前記コア領域、前記第 1 内側クラッド領域、及び前記第 2 内側クラッド領域を形成する媒質、並びに前記外側クラッド領域の主媒質は、シリカガラスであり、前記外側クラッド領域の副媒質は、空気又は真空であることを特徴とする請求項 2 記載の光ファイバ。

【請求項 5】 前記外側クラッド領域に対する前記コア領域の比平均屈折率差が 2 % 以上であることを特徴とする請求項 4 記載の光ファイバ。

【請求項 6】 前記第 2 内側クラッド領域に対する前記第 1 内側クラッド領域の比屈折率差が - 0 . 1 % 以下であることを特徴とする請求項 4 記載の光ファイバ。

【請求項 7】 前記外側クラッド領域の副媒質を伝搬する光パワーの割合が 1 % 以下であることを特徴とする請求項 4 記載の光ファイバ。

【請求項 8】 所定の波長において単一モードで動作することを特徴とする請求項 1 記載の光ファイバ。

【請求項 9】 所定の波長において波長分散が $- 8 0 \text{ ps} / \text{nm} / \text{km}$ よりも負側に大きいことを特徴とする請求項 1 記載の光ファイバ。

【請求項 1 0】 請求項 9 記載の光ファイバと、所定の波長において正の波長分散を有する光ファイバとを含むことを特徴とする光ファイバ伝送路。

【発明の詳細な説明】

【 0 0 0 1 】

【発明の属する技術分野】

本発明は、光伝送路又は分散補償器として好適な光ファイバに関する。

【 0 0 0 2 】

【従来の技術】

従来から、以下のような光ファイバが知られている。例えば、OFC' 9 6 PD 6 - 2 には、いわゆる不純物添加型光ファイバが記載されている。この光ファイバは、石英系ガラスに Ge や F を添加して形成した屈折率プロファイルによって負の波長分散を実現する。

【 0 0 0 3 】

また、USP 5, 9 0 7, 6 5 2 には、空気クラッドを有する光ファイバが記載されている。この光ファイバは、コア領域、内側クラッド領域、第 1 外側クラッド領域、第 2 外側クラッド領域とを備えており、特に、第 1 外側クラッド領域がシリカガラスの蜘蛛の巣状構造と空気形成されている。これにより、ポンプ光に対する NA が大きなクラッド励起ファイバや、再被覆に対する不感応性を

有する長周期グレーティングが実現される。

【0004】

また、特開平10-95628号公報、及びOFC' 99 FG1には、いわゆる微細構造光ファイバが記載されている。この光ファイバは、コアとクラッドとの間で大きな実効屈折率差を実現し、大きな負の波長分散を実現している。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、OFC' 96 PD6-2に記載されている不純物添加型光ファイバには、屈折率プロファイルを形成するための屈折率変化幅が小さいという問題がある。すなわち、高い屈折率はGeを添加することにより得られ、低い屈折率はFを添加することにより得られるが、添加することができるGe濃度の上限は、付随して生じる伝送損失の増加によって制限されてしまう。また、添加することができるF濃度の上限は、伝送損失増加と製造技術とによって制限されてしまう。このため、屈折率の変化幅を大きくすることができず、曲げ損失が大きくなると共に、波長分散及び波長分散スロープの絶対値も小さくなってしまう。

【0006】

また、USP 5, 907, 652に記載されている光ファイバでは、コア領域と内側クラッド領域との間に、両領域の屈折率よりも低い屈折率を有する領域を設けることが見出されていなかったため、大きな負の波長分散は実現されていない。

【0007】

また、特開平10-95628号公報、及びOFC' 99 FG1に記載されている光ファイバには、次のような問題がある。第1に、光損失が大きいという問題である。OFC' 99 FG1には、特開平10-95628号公報と同様の微細構造光ファイバが記載されているが、この光ファイバには50 dB/kmの光損失が生ずると報告されている。この光損失は、石英系光ファイバにおける典型値0.2 dB/kmと比較すると250倍大きい。微細構造光ファイバと石英系光ファイバとの構造上の相違点は、クラッドに微細構造（空孔）を含むか否かにある。従って、微細構造光ファイバにおける過剰な光損失は、空孔に起因し

ていると考えられる。例えば、空孔内の水蒸気による光吸収が考えられる。

【0008】

石英系ガラスと空孔で構成される微細構造光ファイバにおいて、石英系ガラスと空孔における光損失係数をそれぞれ α_s 、 α_a とすると、ファイバ全体での光損失 α は、次式で表すことができる。

【0009】

【数1】

$$\alpha = (1-p)\alpha_s + p\alpha_a \quad \dots \textcircled{1}$$

【0010】

ここで、 p は空孔を伝搬する光パワーの割合であり、次式で表される。

【0011】

【数2】

$$p = \frac{\iint_{\Omega_a} |E|^2(x, y) dx dy}{\iint_{\Omega} |E|^2(x, y) dx dy} \quad \dots \textcircled{2}$$

【0012】

ただし、 x と y は、ファイバ断面内における座標、 E は電界ベクトルの分布を表し、 Ω と Ω_a は、それぞれファイバ断面全体と空孔領域を表す。

【0013】

式①において、空孔内の水蒸気による光吸収などのために $\alpha_a > \alpha_s$ が成立するので、空孔を伝搬する光パワーの割合 p が大きくなると光損失が大きくなる。

【0014】

第2の問題は、特開平10-95628号公報、及びOFC'99 FGIに記載されている微細構造光ファイバには、製造が困難であるという問題である。この原因は、次の2つが考えられる。

【0015】

第1の原因は、波長分散が空孔の大きさや形状に対して敏感に変動するのに対し、空孔の大きさは線引時の空孔内圧力や温度に依存して変動しやすいことである。波長分散Dは、群屈折率 n_g を波長 λ に関して微分したものと等価であり、次式で与えられる。

【0016】

【数3】

$$D = \frac{1}{c} \frac{dn_g}{d\lambda} \quad \cdot \cdot \cdot \textcircled{3}$$

【0017】

一方、群屈折率 n_g は、スカラー近似を用いると、次式で与えられる。

【0018】

【数4】

$$n_g = \frac{k \iint_{\Omega} n^2(x, y) E^2(x, y) dx dy}{\beta \iint_{\Omega} E^2(x, y) dx dy} \quad \cdot \cdot \cdot \textcircled{4}$$

【0019】

ここで、 x と y は、ファイバ断面内での座標、 E と n はそれぞれ電界振幅と屈折率の断面内での分布、 k と β は、それぞれ波数と伝搬定数であり、 Ω はファイバ断面全体を表す。一般に、電界振幅 E は、コアの近傍で大きな値をとるため、群屈折率 n_g の値、波長分散Dの値は、コアの近傍の屈折率分布に大きく依存する。

【0020】

石英系ガラスと空孔とで構成される微細構造光ファイバにおいて、石英系ガラ

スと空孔の屈折率をそれぞれ n_s 、 n_a とすると、群屈折率 n_g は、次式で表すことができる。

【0021】

【数5】

$$n_g = \frac{k}{\beta} \left\{ (1-p)n_s^2 + pn_a^2 \right\} \cdots \textcircled{5}$$

【0022】

式⑤により、群屈折率 n_g は、空孔を伝搬する光パワーの割合によって決まる。その結果、空孔の大きさや形状は群屈折率 n_g に影響し、波長分散 D に強く影響する。そのため、製造において、空孔の形状と大きさの正確さに対する要求が厳しくなり、製造コストの増加を招く。

【0023】

製造が困難である第2の原因は、微細構造がクラッド領域全体にわたって分布していることである。このような構造を製造するためには、特開平10-95628号公報によれば、次のような方法が採られる。すなわち、孔の空いた多数のシリカ管と孔の空いていないシリカロッド用い、シリカロッドがシリカ管に囲まれるようにして束ねて菅束バンドルを作る。この菅束バンドルの外径よりもわずかに大きい内径を持つオーバークラッド管を菅束バンドルにコラプスさせてプリフォームを作り、このプリフォームを線引して微細構造光ファイバを得る。しかし、多数のシリカ管を所望の配列に束ねる作業には手間がかかると共に、束ねる工程やコラプス工程において配列が乱れる可能性が高く、製造の再現性が低いという問題がある。

【0024】

本発明は、このような事情に鑑みてなされたものであり、光ファイバにおいて、屈折率の変化幅を大きくし、低い曲げ損失と、絶対値の大きい負分散と、絶対値の大きな負分散スロープとを実現すると共に、光損失を極力小さくすることを目的とする。さらに、製造が容易でコストの低減を図ることを目的とする。

【 0 0 2 5 】

【課題を解決するための手段】

請求項 1 記載の光ファイバの発明は、軸方向に対して垂直な断面に、内側領域と、内側領域を囲む外側領域を有し、内側領域は、円状領域と、円状領域を囲む 2 つ以上の円環状領域によって構成され、円状領域と円環状領域はいずれも実質的に均一な媒質で形成され、それらの内の少なくとも 1 つは、自身の屈折率よりも低い屈折率を有する円環状領域によって囲まれる光ファイバにおいて、外側領域は、主媒質中にこの主媒質の屈折率よりも低い屈折率を有する副媒質で形成された小領域を複数備える構成を採る。

【 0 0 2 6 】

主媒質と副媒質とは異なる媒質であり、必ずしもファイバ断面内で主媒質が副媒質よりも大きな面積を占有する必要はない。主媒質は、単独でも外側領域を構成できる材料でなければならない。互いに連結していない 2 つ以上の主媒質領域が外側領域内にあってはならない。一方、副媒質にはどんな材料を用いても良く、互いに連結していない 2 つ以上の主媒質領域が外側領域内にあっても良い。本発明により、単独では外側領域の材料として用いることが困難である材料、例えば気体や液体等を外側領域の副媒質として用いることが可能となる。副媒質の屈折率が主媒質の屈折率よりも低くなるように選択することにより、主媒質のみを用いて外側領域を形成した場合と比較して外側領域の平均屈折率を下げる事が可能となる。

【 0 0 2 7 】

その結果、従来の不純物添加型光ファイバに比べて曲げ損失を低下させることが可能となる。一方、一般に、負分散の大きさ、負分散スロープの大きさ、及び実効コア断面積の大きさは、曲げ損失の低さとトレードオフの関係にある。従って、曲げ損失が等しくなる条件で比較した場合、従来の不純物添加型光ファイバに比べて絶対値の大きな負分散、絶対値の大きな負分散スロープ、及び大きな実効コア断面積を実現することができる。負分散や負分散スロープの絶対値が大きいことは、伝送路における正分散や正分散スロープを補償する際に必要なファイバ長が短くて済むことを意味する。また、実効コア断面積が大きいことにより、

非線型光学効果による伝送特性劣化を抑制することができる。また、曲げ損失が小さいことにより、小型の分散補償モジュールに使用することができ、伝送路として用いる場合の信頼性も高くなる。

【0028】

ある領域が実質的に均一な媒質で構成されるとは、その領域を構成する材料の主成分が領域内で一様であることを意味するが、不純物濃度が領域内で変化する構成を適宜採ることも可能である。例えば、内側領域中の円状領域の材料を、不純物としてGeを含むシリカガラスとし、中心から外周に向かってGe濃度が減少する構成を採ることができる。

【0029】

また、外側領域をシリカガラスやポリマーで形成されるジャケット領域で包囲することも可能であり、それによって光ファイバの機械的強度を向上できるが、ジャケット領域は光学特性に影響を及ぼさない。これは、外側領域における屈折率の低い副媒質によって、ジャケット領域への光電界のしみ出しが抑制されるためである。

【0030】

請求項2記載の発明は、請求項1記載の光ファイバにおいて、コア領域と、コア領域を包囲する第1内側クラッド領域と、第1内側クラッド領域を包囲する第2内側クラッド領域と、第2内側クラッド領域を包囲する外側クラッド領域とを有し、コア領域、第1内側クラッド領域、及び第2内側クラッド領域は、いずれも実質的に均一な媒質で形成され、外側クラッド領域は、主媒質中にこの主媒質よりも屈折率が低い副媒質で形成された小領域を複数備え、コア領域の屈折率 n_0 と、第1内側クラッド領域の屈折率 n_1 と、第2内側クラッド領域の屈折率 n_2 と、外側クラッド領域の平均屈折率 n_3 との間に、

$$n_0 > n_2 > n_1, \text{ かつ, } n_2 > n_3$$

なる関係が成立する構成を採る。

【0031】

ファイバ断面内の領域 Ω における平均屈折率 n_{avg} は、次式で表される。ただし、 x と y はファイバ断面内の座標、 n は屈折率分布、 A は領域 Ω の面積である

【 0 0 3 2 】

【数 6】

$$n_{avg} = \left\{ \frac{1}{A} \iint_{\Omega} n^2(x, y) dx dy \right\}^{\frac{1}{2}} \quad \cdot \cdot \cdot \textcircled{6}$$

【 0 0 3 3 】

この構成により、外側クラッド領域における平均屈折率を下げることで、従来の不純物添加型光ファイバに比べて曲げ損失を低下させることが可能となる。一般に、負に大きい波長分散や、負に大きい波長分散スロープや、大きな実効コア断面積といった特性は、小さな曲げ損失とトレードオフの関係にある。従って、曲げ損失が等しくなる条件で比較した場合、従来の不純物添加型光ファイバに比べて絶対値の大きな負分散、絶対値の大きな負分散スロープ、及び大きな実効コア断面積を実現することができる。

【 0 0 3 4 】

また、本発明によれば、従来の空気クラッド光ファイバに比べて、絶対値の大きな負の波長分散を得ることができる。これは、コア領域と第2内側クラッド領域のいずれよりも低い屈折率を有する第1内側クラッド領域が存在することによる。

【 0 0 3 5 】

また、本発明によれば、従来の微細構造光ファイバに比べて過剰な光損失を低く抑えることができる。これは、副媒質の存在する外側クラッド領域がコア領域から離れているためである。過剰な光損失は空孔などの副媒質に起因して発生すると考えられるが、本発明に係る光ファイバでは副媒質が含まれる外側クラッド領域と光パワーが集中するコア領域との間に第1内側クラッド領域と第2内側クラッド領域が存在するので、副媒質及び副媒質との界面を伝搬する光パワーの割合が従来の微細構造光ファイバに比べて小さい。その結果、副媒質に起因する光

損失が小さくなる。

【 0 0 3 6 】

副媒質に起因する過剰な光損失は、製造技術が進歩すれば発生する可能性が低く抑えられるようになると考えられる。しかし、その場合においても、副媒質及び副媒質の界面を伝搬する光パワーの割合を低減することによって、過剰な光損失が発生する可能性をさらに低くすることができる。

【 0 0 3 7 】

また、本発明に係る光ファイバは、副媒質の小領域として空孔を用いた場合、従来の微細構造光ファイバに比べて容易に製造することができる。まず第1の理由は、波長分散特性の孔径に対する感度が減少することである。本発明に係る光ファイバでは、外側クラッド領域とコア領域の間に第1内側クラッド領域と第2内側クラッド領域が在るので、波長分散は、コア領域と、その近傍にある第1内側クラッド領域と第2内側クラッド領域とによって支配され、外側クラッド領域が波長分散特性に与える影響は無視することができる。そのため、外側クラッド領域における副媒質の小領域の形状の正確さに対する要求が緩和され、従来の微細構造光ファイバに比べて容易に製造することが可能となる。

【 0 0 3 8 】

第2の理由は、空孔の総数が少ないことである。これは、空孔が導入される領域が外側クラッド領域に限定されていることによる。プリフォームを作成する方法としては、シリカ管を束ねる方法や、穿孔器具を用いてプリフォームに孔をあける方法が考えられるが、いずれの方法を採る場合も、空孔の数が減少することによって製造における煩雑さが軽減される。

【 0 0 3 9 】

請求項3記載の発明は、請求項2記載の光ファイバにおいて、外側クラッド領域に形成された小領域は、ファイバ軸に関して実質的に4回回転対称性が成立するように配置されている構成を採る。

【 0 0 4 0 】

このように、外側クラッド領域の副媒質を、ファイバ軸に関する4回回転対称性が実質的に成立するように配置することにより、

モード複屈折率 $B = (\beta_1 - \beta_2) / k$

を小さくすることができる。その結果、偏波モード分散を小さくすることができ、高ビットレートの光信号の伝送に使用することができるようになる。ここで、 β_1 と β_2 とは、2つの偏波モードの伝搬定数、 k は波数である。

【0041】

請求項4記載の発明は、コア領域、第1内側クラッド領域、及び第2内側クラッド領域を形成する媒質、並びに外側クラッド領域の主媒質は、石英系ガラスであり、外側クラッド領域の副媒質は、空気である構成を採る。

【0042】

この構成により、伝送損失を低く抑えることが可能となる。

【0043】

請求項5記載の発明は、請求項4記載の光ファイバにおいて、外側クラッド領域に対するコア領域の比平均屈折率差が2%以上である構成を採る。

【0044】

ファイバ断面内における領域1と領域2との比屈折率差（又は比平均屈折率差） Δ は、それぞれの領域の屈折率（又は平均屈折率）を n_1 と n_2 として、次式で定義される。

【0045】

【数7】

$$\Delta = \frac{n_2^2 - n_1^2}{n_2^2 + n_1^2} \quad \cdot \cdot \cdot \textcircled{7}$$

【0046】

この構成により、外側クラッド領域の平均屈折率が低くなり、外側クラッド領域及びその外側のジャケット領域への光電界のしみ出しが抑制されるため、所定の波長において曲げ損失を低減することができる。これにより、大容量波長多重通信により適した光ファイバが得られる。一般に、大容量波長多重通信に用いら

れる光ファイバに要求される特性として、実効コア断面積が大きいこと、波長分散が所定の範囲内に収まる波長範囲が広いことがある。前者では非線形光学効果による伝送品質劣化の抑制、後者では伝送容量の増大が目的である。これらの特性は曲げ損失が低いという特性とトレードオフの関係にある。そのため、曲げ損失が低減されれば、大容量波長多重通信により適した光ファイバが得られる。外側クラッド領域に対するコアの比平均屈折率差を高くすることは、コアにGe等の不純物を添加してコアの屈折率を上げることによっても可能であるが、この場合は不純物添加による問題が生ずる。つまり、伝送損失が増加する、非線形屈折率が増大して非線形光学効果による伝送品質劣化が起こる、膨張係数の違いによって製造時にプリフォームが割れる、といった問題が生ずる。本発明は、上記構成により、このような問題を解決できる。

【 0 0 4 7 】

請求項6記載の発明は、請求項4記載の光ファイバにおいて、第2内側クラッド領域に対する第1内側クラッド領域の比屈折率差が -0.1% 以下である構成を採る。

【 0 0 4 8 】

これにより、所定の波長において、負の波長分散又は負の波長分散スロープを得ることができる。ファイバ中心から外周に向かって、コア領域、コア領域よりも屈折率の低い第1内側クラッド領域、第1内側クラッド領域よりも屈折率の高い第2内側クラッド領域の順で配置された構造は、負の波長分散及び負の波長分散スロープを得るのに好適である。その結果、正の波長分散及び正の波長分散スロープの補償により適した光ファイバが得られる。負の波長分散及び負の波長分散スロープを持つ光ファイバは、正の波長分散及び正の波長分散スロープを持つ光伝送路の波長分散及び波長分散スロープを補償するのに用いることができるが、このとき、波長分散及び波長分散スロープの絶対値が大きい、波長分散及び波長分散スロープが所定の範囲内に収まる波長範囲が広い、といった特性が重要である。前者では補償に必要な光ファイバ長の低減、後者では伝送容量の増大、が目的である。これらの特性は、一般に曲げ損失が低いという特性とトレードオフの関係にある。本発明の光ファイバは、負の波長分散及び負の波長分散スロープ

に加えて、低い曲げ損失という特性を有するので、正の波長分散及び正の波長分散スロープを補償するのに適している。

【 0 0 4 9 】

請求項 7 記載の発明は、請求項 4 記載の光ファイバにおいて、外側クラッド領域の副媒質を伝搬する光パワーの割合が 1 % 以下である構成を採る。

【 0 0 5 0 】

これにより、伝送損失を低減できる。微細構造を導入した光ファイバは、通常の光ファイバに比べて光損失が高い。例えば、OFC' 99 FGI に記載されている光ファイバでは、 50 dB/km という値が報告されているが、これは石英系光ファイバにおける典型値 0.2 dB/km の 250 倍に達する。この過剰な光損失をもたらす原因としては、微細構造として導入された空孔が考えられる。空孔内部や空孔に接するガラス界面における水などの不純物による吸収損失や、ガラス界面の荒れによる散乱損失が過剰な光損失をもたらしていると考えられる。本発明では、コア領域に近い第 1・第 2 内側クラッド領域には副媒質を導入せず、コア領域から離れた外側クラッド領域に副媒質を導入するので、副媒質を伝搬する光パワーの割合を低減することができ、その結果、副媒質に起因する過剰な光損失を低減できる。

【 0 0 5 1 】

請求項 8 記載の発明は、請求項 1 記載の光ファイバにおいて、所定の波長において単一モードで動作する構成を採る。

【 0 0 5 2 】

これにより、モード間分散が無くなり、高ビットレートの光信号の伝送に用いることが可能となる。

【 0 0 5 3 】

請求項 9 記載の発明は、請求項 1 記載の光ファイバにおいて、所定の波長において波長分散が -80 ps/nm/km よりも負側に大きい構成を採る。

【 0 0 5 4 】

この構成により、正の波長分散を補償するために必要な光ファイバの長さが短くて済む。

【 0 0 5 5 】

請求項 1 0 記載の光ファイバ伝送路の発明は、請求項 9 記載の光ファイバと、所定の波長において正の波長分散を有する光ファイバとを含む構成を採る。

【 0 0 5 6 】

この構成により、累積波長分散が少なく、大容量通信が可能な光ファイバ伝送路を実現することができる。

【 0 0 5 7 】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施の形態について、図面を参照して説明する。

【 0 0 5 8 】

(実施の形態 1)

図 1 は、本発明の実施の形態 1 に係る光ファイバの断面図である。本実施の形態に係る光ファイバは、コア領域 1 0 と、コア領域 1 0 を包囲する第 1 内側クラッド領域 1 1 と、第 1 内側クラッド領域 1 1 を包囲する第 2 内側クラッド領域 1 2 と、第 2 内側クラッド領域 1 2 を包囲する外側クラッド領域 1 3 とを備える。コア領域 1 0 は、半径が a 、屈折率が n_0 であり、第 1 内側クラッド領域 1 1 は、外半径が b 、屈折率が n_1 であり、第 2 内側クラッド領域 1 2 は、外半径が c 、屈折率が n_2 である。外側クラッド領域 1 3 は、屈折率 n_{31} の主媒質 1 4 と、屈折率 n_{32} の副媒質 1 5 とで構成されている。副媒質 1 5 の小領域は、半径 r の円であり、 N 個の円がファイバ軸を中心とする半径 d の円の円周上に実質的に等間隔で配置されている。この配置では、ファイバ軸を中心とする 4 回回転対称性が実質的に成立する。さらに、 $e > d + r$ を満たす半径 e の円周の外側領域は、屈折率 n_{31} を有し、均一であるが、この領域をジャケット領域と呼ぶ。ジャケット領域の屈折率は、外側領域の主媒質の屈折率と同じである必要はない。

【 0 0 5 9 】

本実施の形態に係る光ファイバにおいて、各パラメータの値は、次の通りである。 $a = 1.37 \mu\text{m}$ 、 $b = 4.9 \mu\text{m}$ 、 $c = 14.7 \mu\text{m}$ 、 $d = 17.8 \mu\text{m}$ 、 $e = 20.9 \mu\text{m}$ 、 $n_2 = n_{31} = 1.444$ (純粋なシリカガラス)、 $\Delta_0 = (n_0^2 - n_2^2) / (n_0^2 + n_2^2) = +1.49\%$ (GeO_2 が 14.5 mol % 添

加されたシリカガラス)、 $\Delta_1 = (n_1^2 - n_2^2) / (n_1^2 + n_2^2) = -0.36\%$ (Fが1.113wt%添加された石英系ガラス)、 $n_{32} = 1.0$ (空孔)、 $N = 18$ である。なお、本実施の形態においては、第2内側クラッド及びジャケット領域を形成する媒質と、外側クラッドの主媒質が同一 (純粋シリカ) であるため、外側クラッドの内半径 c と外半径 e は任意に決めることができる。ここでは、ジャケット領域の内半径 e は、外側クラッド領域13の厚さ $(e - c) = 6.2\mu\text{m}$ が、外側クラッド領域13における近接空孔間の間隔 $2\pi d / N = 6.2\mu\text{m}$ にほぼ等しく、かつ $d = (c + e) / 2$ となるように、内半径 c と外半径 e が選択されている。

【0060】

以上の各パラメータを共通のものとして、次の4つの構造について伝搬特性のシミュレーションを行った。構造 (a) では $r = 0$ (空孔なし)、構造 (b) では $r = 0.363\mu\text{m}$ 、構造 (c) では $r = 0.722\mu\text{m}$ 、構造 (d) では $r = 1.431\mu\text{m}$ である。このとき、波長 $\lambda = 1550\text{nm}$ における外側クラッド領域13の平均屈折率 n_{avg} は、構造 (b) では1.440、構造 (c) では1.428、構造 (d) では1.380であり、外側クラッド領域13に対する第1内側クラッド領域11の比平均屈折率差 $\Delta_{03} = (n_0^2 - n_{\text{avg}}^2) / (n_0^2 + n_{\text{avg}}^2)$ は、構造 (b) では1.77%、構造 (c) では2.61%、構造 (d) では6.04%である。

【0061】

図2及び図3は、本実施の形態に係る光ファイバのシミュレーション結果を示す図である。図2において、左側縦軸は、ジャケット領域を伝搬する光パワーの割合 P_{jacket} / P であり、右側縦軸は空孔を伝搬する光パワーの割合 P_{air} / P である。図2からわかるように、外側クラッド領域13に副媒質15としての空孔を導入することにより、ジャケット領域を伝搬する光パワーの割合 P_{jacket} / P が低下した。一方、この P_{jacket} / P は、曲げ損失と正の相関がある。従って、外側クラッド領域13に空孔を導入することにより、曲げ損失が低下するという効果が得られた。これにより、伝送損失が低く、信頼性の高い伝送路を実現することが可能となる。

【 0 0 6 2 】

一方、空孔を伝搬する光パワーの割合 P_{air}/P は、 10^{-6} 以下である。これは、従来の微細構造光ファイバにおいて P_{air}/P が大きかったことと対照的である。例えば、図 4 に示した微細構造光ファイバでは、石英系ガラス中に空孔が六方格子を構成するように配列され、近接する空孔の間隔は、 $1.7 \mu\text{m}$ 、空孔の直径は $0.68 \mu\text{m}$ である。この微細構造光ファイバのシミュレーションでは、波長 $\lambda = 1550 \text{ nm}$ において、空孔を伝搬する光パワーの割合 $P_{\text{air}}/P = 0.039$ であり、本実施の形態に係る光ファイバよりも 10^4 倍以上大きい。

【 0 0 6 3 】

従って、本実施の形態に係る光ファイバでは、従来の微細構造光ファイバに比べて空孔を伝搬する光パワーの割合が小さい。その結果、過剰な光損失の発生する可能性を低減すると共に、空孔形状に対する波長分散特性の感度を低減して製造技術に対する要求を緩和することができる。

【 0 0 6 4 】

一方、図 3 において、左側縦軸は波長分散 D であり、右側縦軸は実効コア断面積 A_{eff} である。図 3 からわかるように、外側クラッド領域 13 に空孔を導入しても、波長分散 D と実効コア断面積 A_{eff} は実質的に変化しないことがわかる。

【 0 0 6 5 】

従って、本実施の形態に係る光ファイバでは、空孔形状に対する波長分散の感度を低減することができる。また、空孔を導入したことにより、曲げ損失が低減される。一般に、波長分散が所定の値からずれると、伝送路の残留分散による伝送品質の劣化が生じるので、波長分散に関しては高い製造精度が要求される。一方、曲げ損失は、所定の閾値よりも低いことだけが要求されるので、曲げ損失に関しては高い製造精度は要求されない。本実施の形態に係る光ファイバでは、曲げ損失は空孔形状に依存するが、波長分散は空孔形状に依存しないので、空孔形状の正確さに関する製造技術への要求が緩和される。

【 0 0 6 6 】

また、上記のいずれの構造においても、波長 $\lambda = 1550 \text{ nm}$ において単一モードで動作する。そのため、多モード分散がなく、高ビットレートの光通信が可

能となる。さらに、空孔の配置が、ファイバ軸に関する4回回転対称性を実質的に有するので、波長 $\lambda = 1550\text{ nm}$ におけるモード複屈折 B は、構造(a)では 1.7×10^{-7} 、構造(b)では 1.5×10^{-7} 、構造(c)では 1.5×10^{-7} 、構造(d)では 1.5×10^{-7} と小さく、無視することができる。モード複屈折が小さい結果、偏波モード分散が小さくなり、高ビットレートの光通信が可能となる。

【0067】

なお、以上の説明では、外側クラッド領域13における副媒質15の小領域(空孔)が、ファイバ軸を中心とする1つの円の周上に配列されている例を示したが、本発明はこれに限定されず、他の構成を採ることも可能である。すなわち、図5に示すように、ファイバ軸を中心とする複数の同心円の周上に配列する構成を採ることも可能である。このように、複数の同心円の円周上に副媒質の小領域を配置することにより、外側クラッド領域13の厚さ($e - c$)を大きくすることができる。

【0068】

外側クラッド領域13に副媒質15としての空孔を導入したことによって、ジャケットに漏れ出す光パワー P_{jacket}/P が減少し、曲げ損失が低下するという効果が得られるが、さらに、外側クラッド領域13の厚さを増加させることによって、外側クラッド領域13を越えてジャケットに漏れ出す光パワーをさらに減少させる効果を生ずる。その結果、曲げ損失をさらに低下させることが可能となる。

【0069】

(実施の形態2)

次に、実施の形態2に係る光ファイバについて説明する。ここでは、既に説明した構造(a)と(d)に加えて、構造(e)と(f)のシミュレーション結果を示す。構造(e)では $a = 1.29\text{ }\mu\text{m}$ であり、構造(f)では $a = 1.27\text{ }\mu\text{m}$ である。その他のパラメータは、構造(d)と同一である。

【0070】

図6は、構造(a)、(d)、(e)、(f)についてのシミュレーション結

果を示す図である。図6において、左側縦軸は波長分散 D であり、右側縦軸は実効コア断面積 A_{eff} である。図6からわかるように、構造(e)、(f)では、構造(a)、(d)よりも波長分散 D が負に大きくなり、波長分散スロープ S が負に大きくなり、実効コア断面積 A_{eff} が大きくなる。波長 $\lambda = 1550 \text{ nm}$ における各値は、波長分散 D については、構造(a)が -69 ps/nm/km 、構造(d)が -67 ps/nm/km 、構造(e)が -108 ps/nm/km 、構造(f)が -127 ps/nm/km である。波長分散スロープ S については、構造(a)が $-0.25 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$ 、構造(d)が $-0.20 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$ 、構造(e)が $-0.53 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$ 、構造(f)が $-0.67 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$ である。実効コア断面積 A_{eff} については、構造(a)が $18 \mu\text{m}^2$ 、構造(d)が $18 \mu\text{m}^2$ 、構造(e)が $21 \mu\text{m}^2$ 、構造(f)が $22 \mu\text{m}^2$ である。すなわち、構造(e)、(f)では、構造(a)、(d)に比べて、負に大きな分散、負に大きな分散スロープ、及び大きな実効コア断面積を得ることができる。

【0071】

図7は、構造(a)、(d)、(e)、(f)についてのシミュレーション結果を示す図である。図7において、左側縦軸は、ジャケット領域を伝搬する光パワーの割合 P_{jacket}/P であり、右側縦軸は、空孔を伝搬する光パワーの割合 P_{air}/P である。構造(e)と(f)における P_{jacket}/P は、構造(d)における P_{jacket}/P より大きい、構造(a)における P_{jacket}/P より小さい。すなわち、構造(e)、(f)は、(a)に比べて、負に大きな分散、負に大きな分散スロープ、大きな実効コア断面積、及び小さな曲げ損失を同時に達成できる。

【0072】

また、いずれの構造においても波長 $\lambda = 1550 \text{ nm}$ において単一モードで動作し、モード複屈折 B は、構造(e)では 1.2×10^{-6} であり、構造(f)では 2.9×10^{-6} と小さく、無視することができる。

【0073】

従って、本実施の形態に係る光ファイバでは、外側クラッド領域13に空孔を

導入することによって曲げ損失を低減すると同時に、内側領域の構造を、曲げ損失の低下幅以上に負の波長分散と、負の波長分散スロープと、実効コア断面積の増加が得られるように選んでいる。その結果、従来の不純物添加型光ファイバのように、外側クラッド領域 1 3 を均一媒質で構成した場合と比べて、低い曲げ損失、大きな負分散、大きな負分散スロープ、大きな実効コア断面積を同時に実現することができる。負の波長分散と負の波長分散スロープとが大きいということは、正の波長分散と正の波長分散スロープとを補償するのに必要なファイバ長が短くて済むことを意味し、実効コア断面積が大きいということは、非線形光学効果による伝送品質劣化が少ないことを意味する。

【 0 0 7 4 】

本実施の形態に係る構造 (e) 又は (f) の光ファイバは、負に大きな分散、及び大きな実効コア断面積を有することから、正の分散を有する光ファイバと組み合わせ、通信容量の大きい光伝送路を構築することができる。図 8 に示した光伝送路の例は、光送信器 8 1 と、光受信器 8 2 と、正分散光ファイバ 8 3 と、構造 (e) 又は (f) の負分散光ファイバ 8 4 から成る。一般に正分散光ファイバと負分散光ファイバを組み合わせた光伝送路では、負分散光ファイバにおける非線形光学効果による伝送品質劣化が問題となり、非線形光学効果の影響は負分散光ファイバの実効コア断面積とファイバ長の増加に伴って大きくなる。しかし、本実施の形態で示す負分散光ファイバは、実効コア断面積が大きく、負分散の絶対値が大きいために長さを短くできるので、非線形光学効果の影響を低減でき、伝送品質劣化の少ない光伝送路を実現できる。

【 0 0 7 5 】

本発明により、単独では外側クラッド領域の材料として用いることが困難である材料、例えば気体や液体等を外側クラッド領域の副媒質として用いることが可能となる。副媒質の屈折率が主媒質の屈折率よりも低くなるように選択することにより、主媒質のみを用いて外側クラッド領域を形成した場合と比較して外側クラッド領域の平均屈折率を下げる事が可能となる。

【 0 0 7 6 】

その結果、従来の不純物添加型光ファイバに比べて曲げ損失を低下させること

が可能となる。一方、負分散の大きさ、負分散スロープの大きさ、及び実効コア断面積の大きさは、曲げ損失の低さとトレードオフの関係にある。従って、曲げ損失が等しくなる条件で比較した場合、従来の不純物添加型光ファイバに比べて絶対値の大きな負分散、絶対値の大きな負分散スロープ、及び大きな実効コア断面積を実現することができる。負分散や負分散スロープの絶対値が大きいことは、伝送路における正分散や正分散スロープを補償する際に必要なファイバ長が短くて済むことを意味する。また、実効コア断面積が大きいことにより、非線型光学効果による伝送特性劣化を抑制することができる。また、曲げ損失が小さいことにより、小型の分散補償モジュールに使用することができ、伝送路として用いる場合の信頼性も高くなる。

【 0 0 7 7 】

また、本発明によれば、従来の空気クラッド光ファイバに比べて、絶対値の大きな負の波長分散を得ることができる。これは、コア領域と第2内側クラッド領域のいずれよりも低い屈折率を有する第1内側クラッド領域が存在することによる。

【 0 0 7 8 】

また、本発明によれば、従来の微細構造光ファイバに比べて過剰な光損失を低く抑えることができる。これは、副媒質の存在する領域がコア領域から離れているためである。過剰な光損失は空孔などの副媒質に起因して発生すると考えられるが、本発明に係る光ファイバでは副媒質が含まれる外側クラッド領域と、光パワーが集中するコア領域との間に第1内側クラッド領域と第2内側クラッド領域が存在するので、副媒質及び副媒質との界面を伝搬する光パワーの割合が従来の微細構造光ファイバに比べて小さい。その結果、副媒質に起因する光損失が小さくなる。

【 0 0 7 9 】

また、本発明に係る光ファイバは、副媒質の小領域として空孔を用いた場合、従来の微細構造光ファイバに比べて容易に製造することができる。まず第1の理由は、副媒質の小領域の形状に対する波長分散特性の感度が減少することである。本発明に係る光ファイバは、外側クラッド領域に導入された副媒質（例えば空

孔)と、コア領域との間には、第1内側クラッド領域と第2内側クラッド領域が存在する。そのため、波長分散は、コア領域と、その近傍にある第1内側クラッド領域と第2内側クラッド領域とによって支配され、外側クラッド領域が波長分散特性に与える影響は無視することができる。そのため、副媒質における小領域の形状の正確さに対する要求が緩和され、従来の微細構造光ファイバに比べて容易に製造することが可能となる。

【0080】

第2の理由は、空孔の総数が少ないことである。プリフォームを作成する方法としては、シリカ管を束ねる方法や、穿孔器具を用いてプリフォームに孔をあける方法が考えられるが、いずれの方法を採る場合も、空孔の数が減少することによって製造における煩雑さが軽減される。

【0081】

【発明の効果】

以上説明したように、本発明に係る光ファイバは、軸方向に対して垂直な断面に、内側領域と、内側領域を囲む外側領域を有し、内側領域は、円状領域と、円状領域を囲む2つ以上の円環状領域によって構成され、円状領域と円環状領域はいずれも実質的に均一な媒質で形成され、それらの内の少なくとも1つは、自身の屈折率よりも低い屈折率を有する円環状領域によって囲まれる光ファイバにおいて、外側領域は、主媒質中にこの主媒質の屈折率よりも低い屈折率を有する副媒質で形成された小領域を複数備える構成を採る。

【0082】

この構成により、外側領域における平均屈折率を下げるができるため、従来の不純物添加型光ファイバに比べて曲げ損失を低下させることが可能となる。従って、曲げ損失が等しくなる条件で比較した場合、従来の不純物添加型光ファイバに比べて絶対値の大きな負分散、絶対値の大きな負分散スロープ、及び大きな実効コア断面積を実現することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】

本発明の実施の形態1に係る光ファイバの断面図である。

【図 2】

実施の形態 1 に係る光ファイバのシミュレーション結果を示す図である。

【図 3】

実施の形態 1 に係る光ファイバのシミュレーション結果を示す図である。

【図 4】

従来の光ファイバの断面図である。

【図 5】

実施の形態 2 に係る光ファイバにおいて、外側クラッド領域の厚みを増すことによって曲げ損失低減の効果を増大させた構造の断面図である。

【図 6】

実施の形態 2 に係る光ファイバのシミュレーション結果を示す図である。

【図 7】

実施の形態 2 に係る光ファイバのシミュレーション結果を示す図である。

【図 8】

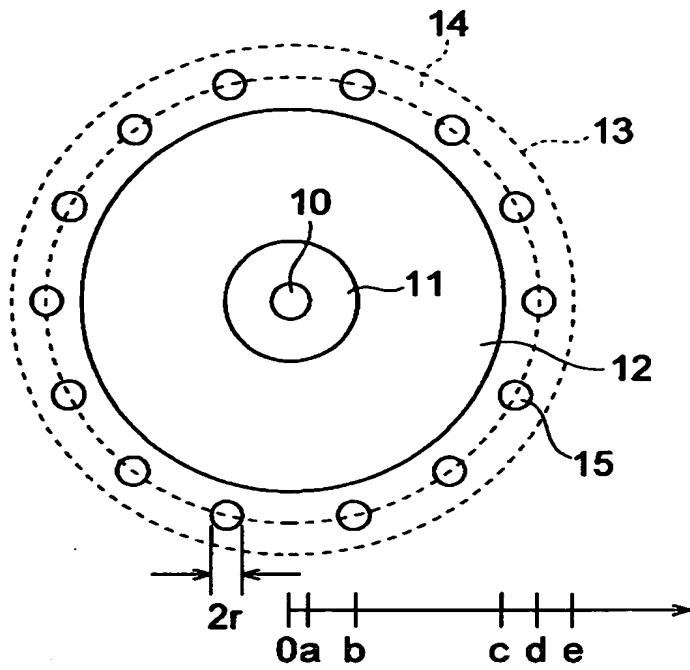
本発明に係る光ファイバを用いた光伝送路を示す図である。

【符号の説明】

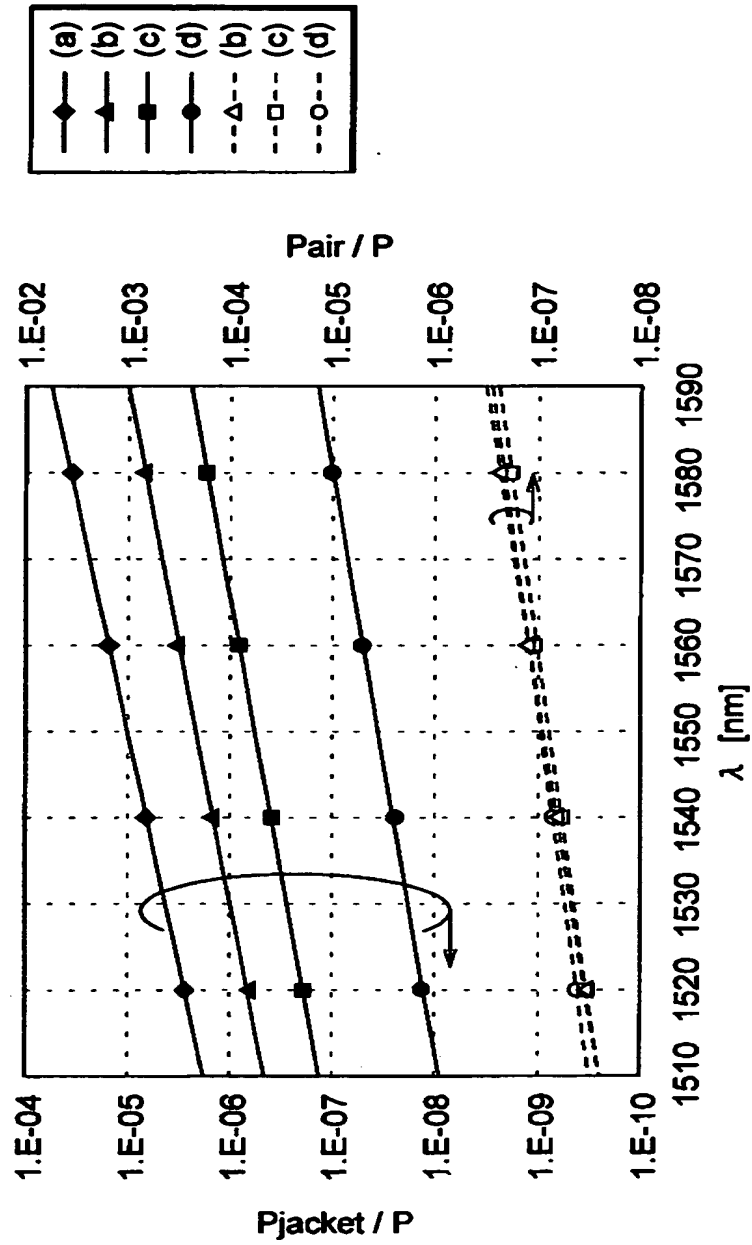
1 0 … コア領域、1 1 … 第 1 内側クラッド領域、1 2 … 第 2 内側クラッド領域、1 3 … 外側クラッド領域、1 4 … 主媒質、1 5 … 副媒質としての空孔、8 1 … 光送信器、8 2 … 光受信器、8 3 … 正分散光ファイバ、8 4 … 負分散光ファイバ。

【書類名】 図面

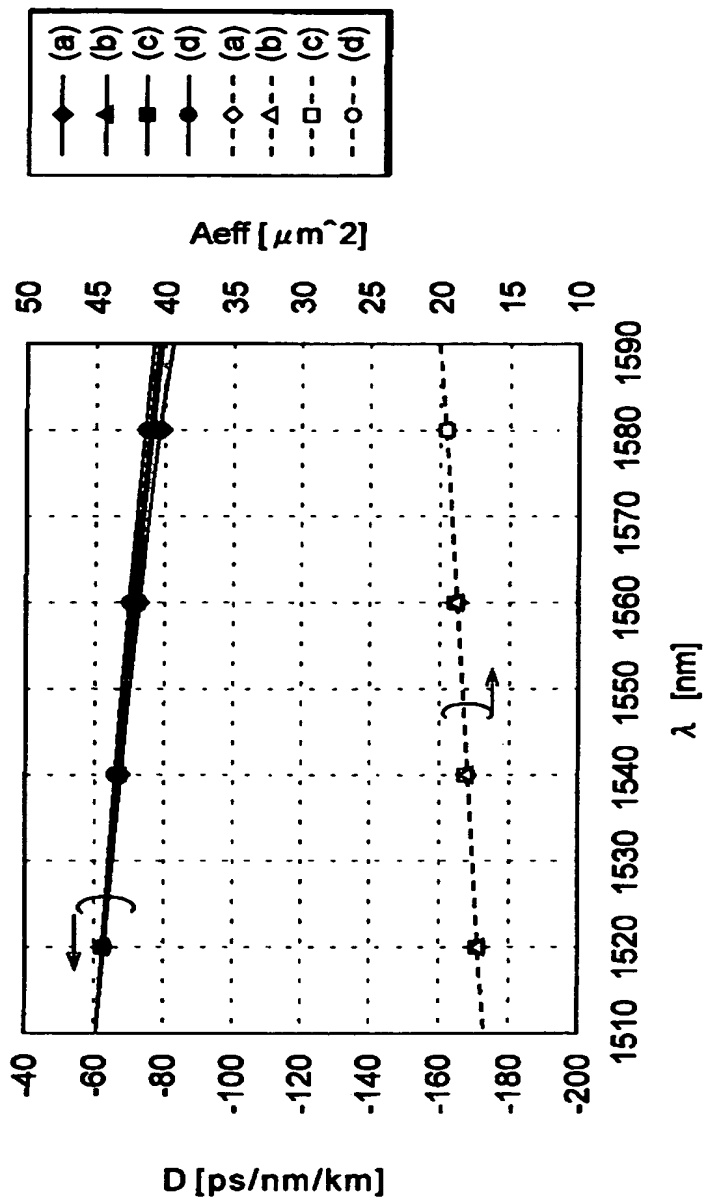
【図 1】



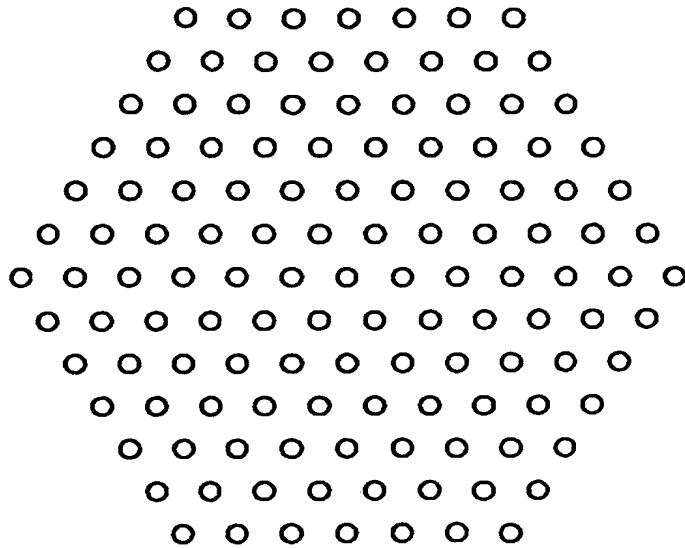
【图 2】



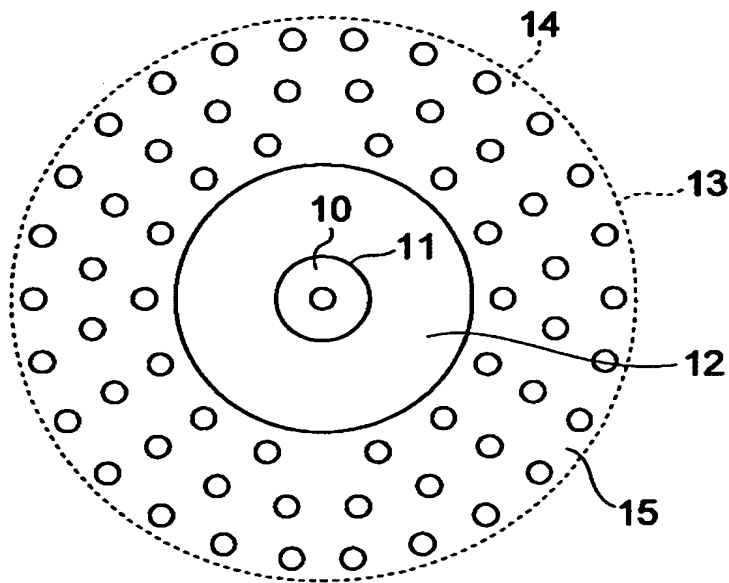
【図3】



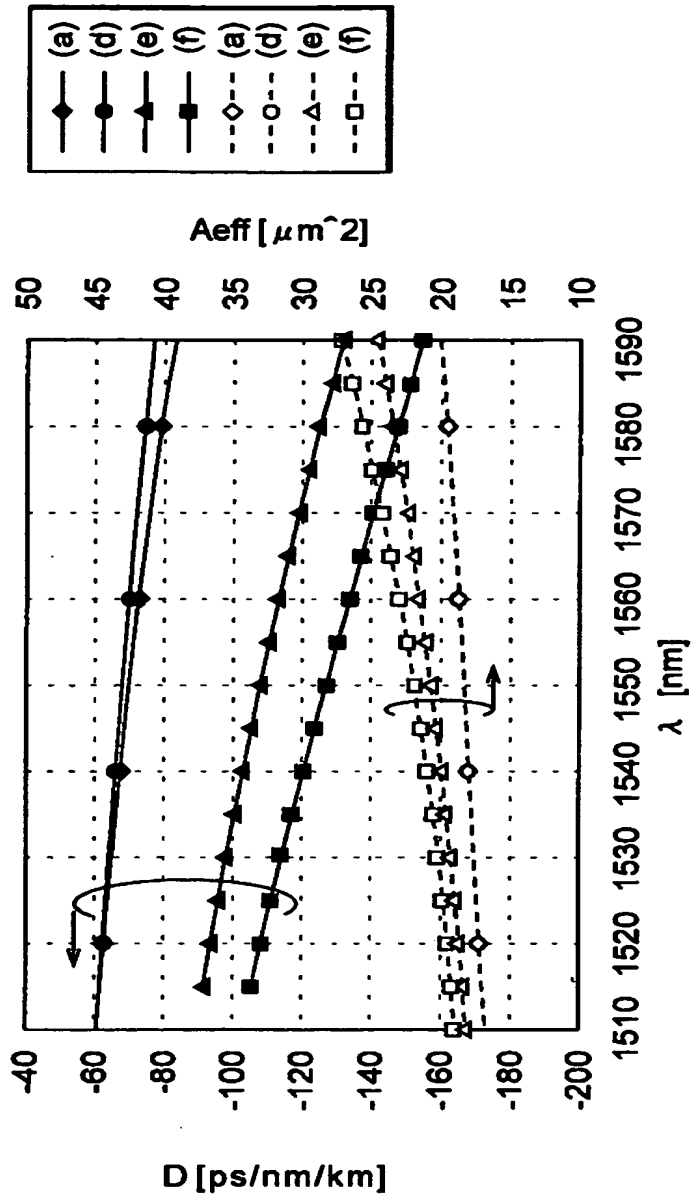
【図 4】



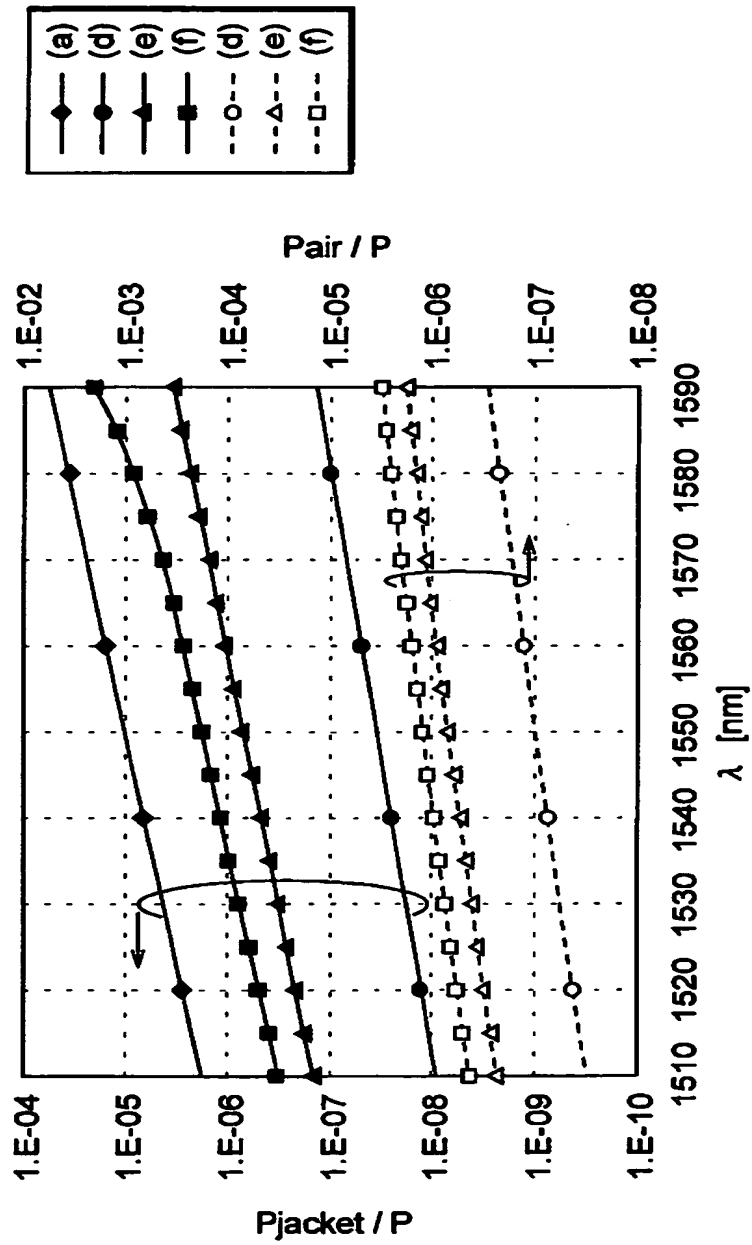
【図 5】



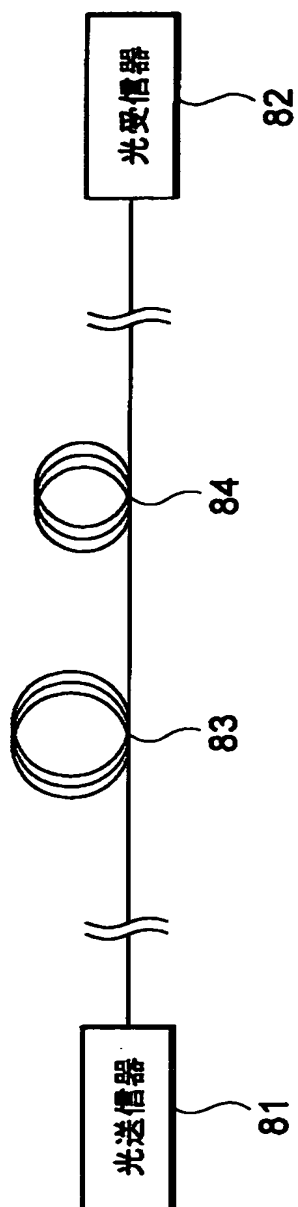
【図6】



【图 7】



【図 8】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 光ファイバにおいて、屈折率の変化幅を大きくし、低い曲げ損失と、絶対値の大きい負分散と、絶対値の大きな負分散スロープと、大きな実効コア断面積とを実現すると共に、光損失を極力小さくすることを目的とする。さらに、製造が容易でコストの低減を図ることを目的とする。

【解決手段】 軸方向に対して垂直な断面に、内側領域（10～12）と、内側領域（10～12）を囲む外側領域13を有し、内側領域（10～12）は、円状領域10と、円状領域10を囲む2つ以上の円環状領域11、12によって構成され、円状領域10と円環状領域11、12はいずれも実質的に均一な媒質で形成され、それらの内の少なくとも1つは、自身の屈折率よりも低い屈折率を有する円環状領域によって囲まれる光ファイバにおいて、外側領域13は、主媒質中にこの主媒質の屈折率よりも低い屈折率を有する副媒質で形成された小領域15を複数備える。

【選択図】 図1

出 願 人 履 歷 情 報

識別番号 [000002130]

1. 変更年月日 1990年 8月29日
[変更理由] 新規登録
住 所 大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号
氏 名 住友電気工業株式会社